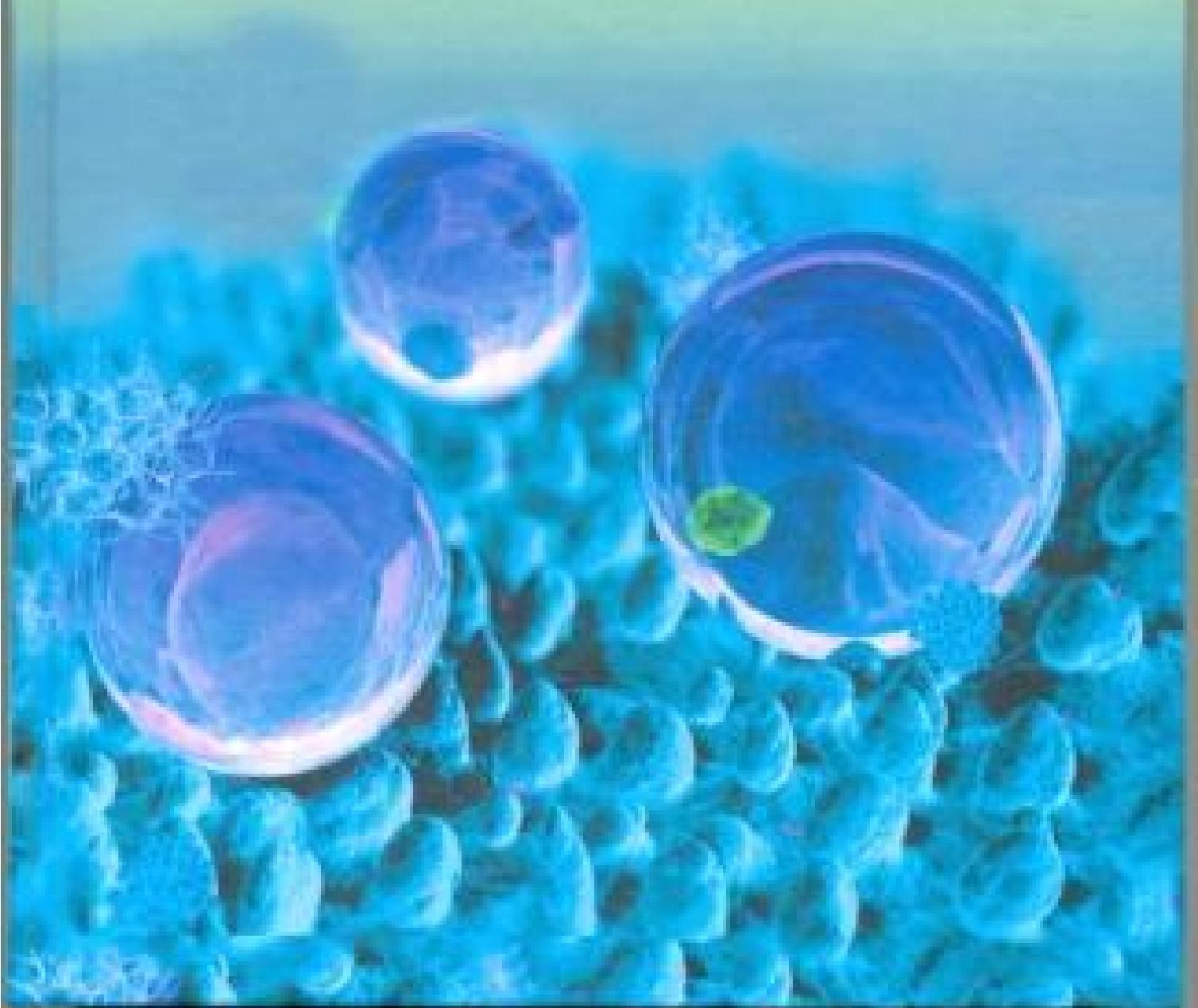


КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ



Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Контроль параметрів якості функціональних покриттів

Розроблено в лабораторії «КПІ імені Ігоря Сікорського»

Монографія

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2018

Рецензенти:

*В. М. Волкогон, д-р техн. наук, проф.,
Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України*

*С. А. Клименко, д-р техн. наук, проф.,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України*

Відповідальний редактор

*М. В. Філіппова, канд. техн. наук, доц.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

К 65 Контроль параметрів якості функціональних покриттів : монографія / В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик, Ю. Ю. Бондаренко та ін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 396 с. : іл. 120; табл. 24.

ISBN 978-966-622-863-8

Систематизовано матеріали з основних методів, методик і засобів контролю параметрів якості функціональних покриттів у приладобудуванні.

Розглянуто основні механізми та принципи дії пристрій для фізико-аналітичного визначення основних параметрів і характеристик тонких покриттів, які широко застосовують у приладобудуванні. Наведено результати практичного використання методів сучасного обладнання та деякі режими й особливості дослідження функціональних покриттів.

Для студентів, магістрів, аспірантів вищих технічних навчальних закладів, які спеціалізуються за напрямом підготовки «Приладобудування», а також викладачам вищих навчальних закладів, наукових співробітників і фахівців у галузі приладобудування.

УДК 620.198+621.793

© В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик, Ю. Ю. Бондаренко,
С. О. Білокінь, С. П. Ральченко, В. О. Андрієнко,
М. О. Бондаренко, 2018
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ПБФ), 2018

ISBN 978-966-622-863-8

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Оцінка технологічних параметрів та експлуатаційних характеристик покриттів в процесі їх отримання	9
1.1 Загальні відомості про вплив умов та режимів отримання тонких покриттів на їх експлуатаційні характеристики	10
1.2 Методи вимірювання і контроль товщини покриттів	21
1.3 Оптичні методи визначення параметрів покриттів в процесі отримання	43
Список використаних джерел до розділу 1	48
2. Методи контролю шорсткості та стану поверхні покриттів	52
2.1 Профілографія	53
2.2 Оптична мікроскопія	57
2.3 Електронна мікроскопія	70
2.4 Атомно-силова мікроскопія	92
Список використаних джерел до розділу 2	106
3. Поверхневі характеристики якості покриттів	110
3.1 Твердість покриттів	110
3.2 Міцність покриттів	124
3.3 Трибологічні характеристики поверхонь покриттів	133
3.4 Термічна стійкість та морозостійкість покриттів	141
3.5 Тріциностійкість поверхонь покриттів	154
3.6 Поруватість покриттів	158
Список використаних джерел до розділу 3	173
4. Хімічні методи дослідження покриттів	178
4.1 Гравіметричний аналіз покриття на основі	178
4.2 Титриметричний аналіз покриттів	199
4.3 Корозійна стійкість покриттів	217
4.4 Хімічна та біологічна стійкість покриттів	227
Список використаних джерел до розділу 4	245
5. Фізико-хімічні методи та засоби дослідження покриттів	251
5.1 Структурний аналіз покриттів	251
5.1.1 Рентгеноструктурний аналіз	252

5.1.2 Рентгенофлуоресцентний аналіз.....	264
5.1.3 Спектральний аналіз покриттів.....	279
5.1.3.1 Емісійний спектральний аналіз.....	280
5.1.3.2 Атомно-абсорбційний спектральний аналіз.....	299
5.1.3.3 Інфрачервона спектроскопія.....	306
5.2 Дослідження оптичних характеристик покриттів.....	310
5.2.1 Віддзеркалююча здатність покриття.....	311
5.2.2 Стійкість до дії інфрачервоного, світлового та ультрафіолетового випромінювання.....	322
5.2.3 Стійкість покриттів до іонізуючого випромінювання.....	327
5.3 Дослідження електромагнітних властивостей покриттів.....	338
5.3.1 Електропровідність покриттів.....	339
5.3.2 Стійкість покриттів до електростатичних явищ.....	345
5.3.3 Магнітні властивості покриттів.....	351
5.4 Термічний аналіз покриттів	365
5.4.1 Диференціальний термічний аналіз	365
5.4.2 Дериватографія	370
5.4.3 Визначення тепlopровідності покриттів	374
Список використаних джерел до розділу 5	384
Заключення	390

ВСТУП

Під час виробництва більшості елементів сучасних пристадів та пристройів активно використовують технології формування функціональних покриттів, які надають елементам цих виробів функціональні, захисні та декоративно-захисні властивості, забезпечують їх надійну та довговічну роботу в різних експлуатаційних умовах. Проте, точність, надійність експлуатації та якість функціонування таких покриттів (як і приладів в цілому) залежить від належного та своєчасного контролю процесу їх отримання.

В технічних галузях розробляють і широко застосовують нові методи, методики, прилади та режими контролю покриттів різного хімічного складу, структури та товщини (від нанометрических ультратонких – до товстих мікрометрических і навіть міліметрових) з можливістю уніфікації цих методів та комплексного і високоточного визначення цих параметрів.

Вивчаючи тонкі плівки та структури, що утворилися на них, дослідник намагається досягти найпродуктивнішого результату, оволодіти найбільш повною і якісною інформацією. Для задоволення цієї потреби дослідники використовують різноманітні способи та прилади для кращого виконання поставленого завдання. При цьому предмет дослідження може піддаватися детальному обстеженню та вивченю багатьма, часто різними за фізичною природою методами, що в результаті, має привести до виконання даної задачі.

У монографії висвітлено комплекс питань, які можуть бути цікаві, в першу чергу, студентам, магістрам інженерних спеціальностей вищих навчальних закладів освіти та фахівців, що працюють в різних областях точного приладобудування, прецизійного машинобудування, радіоелектронного виробництва, виготовлення елементів персональних комп’ютерів тощо.

Матеріали, викладені в монографії містять оригінальні роботи і підготовлені колективом авторів, що є фахівцями в області отримання та дослідження тонких покриттів у приладобудуванні. Наводяться матеріали з



DR DAVID L. MILLER is a general surgeon based in Boston, Massachusetts. Specializing in cancer surgery, he has performed thousands of operations. His work emphasizes the value of surgical intervention rather than chemotherapy. Dr. Miller regularly performs surgery for breast cancer, prostate cancer, colon cancer, rectal cancer, liver cancer, lung cancer, esophageal cancer, head and neck cancer, and melanoma. He also performs minimally invasive procedures such as laparoscopic and robotic surgery, and endoscopic procedures.



DR MICHAEL J. MORRISSEY is a general surgeon from Andover, Massachusetts. He has performed thousands of operations, including abdominal, breast, head and neck, and orthopedic procedures. Dr. Morrissey - a graduate of Tufts University School of Medicine - completed his residency at Tufts New England Medical Center. He is board certified in General Surgery and Orthopaedic Surgery. Dr. Morrissey has performed over 1000 laparoscopic procedures, and 100 robotic procedures at Andover Hospital.



DR DANIEL J. O'LEARY is a surgical oncologist from Andover, Massachusetts. He has performed thousands of operations, including breast, head and neck, and orthopedic procedures. Dr. O'Leary - a graduate of Boston University School of Medicine - completed his residency at Tufts New England Medical Center. He is board certified in General Surgery and Orthopaedic Surgery. Dr. O'Leary has performed over 1000 laparoscopic procedures, and 100 robotic procedures at Andover Hospital.



DR JENNIFER C. PACHMAN is a general surgeon from Andover, Massachusetts. She has performed thousands of operations, including abdominal, breast, head and neck, and orthopedic procedures. Dr. Pachman - a graduate of Boston University School of Medicine - completed her residency at Tufts New England Medical Center. She is board certified in General Surgery and Orthopaedic Surgery. Dr. Pachman has performed over 1000 laparoscopic procedures, and 100 robotic procedures at Andover Hospital.



DR MICHAEL J. PACHMAN is a general surgeon from Andover, Massachusetts. He has performed thousands of operations, including abdominal, breast, head and neck, and orthopedic procedures. Dr. Pachman - a graduate of Boston University School of Medicine - completed his residency at Tufts New England Medical Center. He is board certified in General Surgery and Orthopaedic Surgery. Dr. Pachman has performed over 1000 laparoscopic procedures, and 100 robotic procedures at Andover Hospital.



DR MICHAEL J. PACHMAN is a general surgeon from Andover, Massachusetts. He has performed thousands of operations, including abdominal, breast, head and neck, and orthopedic procedures. Dr. Pachman - a graduate of Boston University School of Medicine - completed his residency at Tufts New England Medical Center. He is board certified in General Surgery and Orthopaedic Surgery. Dr. Pachman has performed over 1000 laparoscopic procedures, and 100 robotic procedures at Andover Hospital.



DR MICHAEL J. PACHMAN is a general surgeon from Andover, Massachusetts. He has performed thousands of operations, including abdominal, breast, head and neck, and orthopedic procedures. Dr. Pachman - a graduate of Boston University School of Medicine - completed his residency at Tufts New England Medical Center. He is board certified in General Surgery and Orthopaedic Surgery. Dr. Pachman has performed over 1000 laparoscopic procedures, and 100 robotic procedures at Andover Hospital.